西藏气候季节早晚和长短等级划分指标

史继清[1,2]， 罗骕翾[3]， 张伟华[1]， 周刊社[1]，
胡 洁[1]， 张东东[1]， 甘臣龙[4]

（1. 西藏自治区气候中心，西藏 拉萨 850000；2. 日喀则国家气候观象台，西藏 日喀则 857000；3. 西藏自治区气象灾害防御技术中心，西藏 拉萨 850000；4. 墨竹工卡县气象局，西藏 拉萨 850000）

摘 要：为了更好地了解全球气候变化背景下，高海拔地区季节变化对生态和环境的响应机制，研究西藏季节早晚和长短等级划分指标变得尤为重要。根据1981—2023年西藏地区38个气象站点气温日资料，选择四季划分气温阈值6 ℃、17 ℃、17 ℃、6 ℃，探讨气候季节早晚和长短等级划分指标及其演变规律。结果表明：（1）38站春、夏、秋、冬四季开始日期平均出现在4月21日、6月17日、7月17日、10月17日，时间长度平均为56 d、29 d、92 d、188 d。（2）当年气候季节起止时间、时间长度整体上呈现“冬季标准差最小、夏季标准差最大”的特征。（3）气候季节起止时间、时间长度早晚等级呈现“正常等级天数>略偏早晚、偏早晚等级天数>显著早晚、异常早晚等级天数”的特点，A指标更符合早晚和长短等级划分指标的阈值。（4）西藏地区春夏季的开始日期有提前的趋势，秋冬季则有推迟的趋势。（5）春季开始日期、冬季结束日期、夏季时间长度以正常等级为主，夏秋冬季开始日期、春秋季结束日期以早等级为主，春秋季时间长度以短等级为主，冬季时间长度以长等级为主，夏季结束日期以晚等级为主。研究结果可为气候资源管理、生态环境保护、人类生产生活等提供参考。

关键词：气候季节；早晚和长短等级；标准差；演变规律；西藏

中国是气候变化的敏感区和影响显著区，升温速率明显高于同期平均水平[1]，西藏也有此趋势[2]。气温的升高直接改变了四季开始、结束时间及时间长度，也导致了气候季节早晚和长短的变化，不仅直接影响着人们的日常生活和生产活动，如农业播种与收获的时间安排、旅游旺季的规划等，也与生态系统的平衡和生物多样性息息相关[3-7]。

目前关于季节划分方法的选择多停留在气候季节划分（QX/T 152—2012）标准，针对不同地区的省级、地方标准鲜见报道[8-10]。同样季节划分阈值更是多种多样，相关学者基于不同的研究目的、区域特点以及所采用的数据和方法，提出各自独特的季节划分阈值，比如有以温度的特定数值作为阈值来划分四季[11-15]，有的则综合考虑降水、相对湿度等多种因素的组合阈值[16-17]，不同的阈值和划分方法虽然在一定程度上丰富了我们对季节划分的认识，但也可能导致在实际应用和交流中出现不确定因素。

以往的研究中，虽然已经提出了一些划分方法和指标，但往往存在一定的局限性或地区适应性问题。统一和科学的气候季节划分标准以及季节出现早晚和长短的等级指标，有助于规范相关业务和公众气象服务，使不同地区和不同行业能够更好地理解和应对气候季节的变化。西藏素有“一山有四季，十里不同天”的气候特点，根据已有研究[3]，本文选择适合西藏四季的划分气温阈值，探讨气候季节早晚和长短等级划分指标及其演变规律，旨在能够为气候学研究、资源管理、环境保护等领域提供理论基础和决策依据，促进人类更好地适应和应对不断变化的气候环境。

收稿日期：2024-06-03； **修订日期**：2024-08-09

基金项目：西藏自治区科技计划重点研发及转化（XZ202401ZY0065）；第二次青藏高原综合科学考察研究项目（2019QZKK0106）；区域创新发展联合基金重点支持项目（U23A2006）；西藏自治区科技创新基地建设项目（XZ202401YD0008）；中国气象局创新发展专项（CXFZ2024J046）

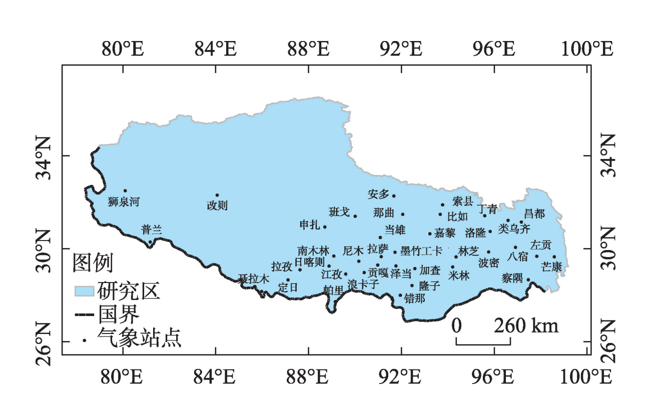
作者简介：史继清（1988-），女，硕士，副研级高级工程师，主要从事农业气象灾害研究. E-mail: shijiqing10@126.com

通讯作者：周刊社. E-mail: zhoukanshe@163.com

1 资料与方法

1.1 资料来源

选择西藏地区1981—2023年38个气象站点逐日平均气温数据(图1),数据从西藏自治区气象信息网络中心获取,其中,雅鲁藏布江一线所属站点包括拉萨、泽当、日喀则、江孜、浪卡子、拉孜、尼木、贡嘎、墨竹工卡、加查、南木林。选取1991—2020年为标准气候期,其平均值为气候平均值。



注:底图采用西藏自然资源厅标准地图制作,审图号为藏S(2022)004号,对底图边界无修改。下同。

图1 西藏地区38个气象站点分布

Fig. 1 Distribution of 38 meteorological stations in Xizang

1.2 研究方法

1.2.1 常年气候季节的计算 采用史继清等[3]新四季划分方法中四季气温阈值(6 ℃、17 ℃、17 ℃、6 ℃),常用气候季节划分方法以5 d滑动平均气温(T)分别满足$T \geqslant 6$ ℃作为春季开始,$T \geqslant 17$ ℃为夏季开始,$T<17$ ℃为秋季开始,$T<6$ ℃为冬季开始[11]。以春季(夏季、秋季、冬季)起始日的前一日,作为冬季(春季、夏季、秋季)的终止日。春季(夏季、秋季、冬季)起始日至春季(夏季、秋季、冬季)终止日之间的天数,为相应气候季节的时间长度。

(1) 常年日平均气温序列

对标准气候期(1991—2020年)的历年逐日平均气温,计算同一日期的近30 a平均值,得到一年365 d的日平均气温常年值。其中,2月不考虑闰年,按28 d计算。计算公式为:

$$\overline{T_j} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_{ij} \tag{1}$$

式中:$\overline{T_j}$ 为第j日的平均气温常年值(℃),j=1,2,3,…,365;t_{ij} 为第i年第j日的平均气温(℃),i=1,2,3,…,n;n为常年值的计算年数,取30。

(2) 5 d滑动平均气温的常年值

计算出1991—2020年1月1日—12月31日每年的平均气温,利用公式(1)得到一年365 d的日平均气温常年值,并计算当天及前4 d的连续5 d平均气温的算术平均值,得到逐日5 d滑动平均气温常年值[18]。计算如下:

$$\overline{M_j} = \frac{t_{j-4} + t_{j-3} + t_{j-2} + t_{j-1} + t_j}{5} \tag{2}$$

式中:$\overline{M_j}$ 为第 j 日的5 d滑动平均气温(℃),j=5,6,7,8,9,…,365;t_j 为第 j 日的平均气温(℃)。

1.2.2 气候季节早晚和长短等级划分

(1) 标准差α、β、δ的计算

分别计算1991—2020年气候季节开始日期、结束日期、时间长度的平均值,公式如下:

$$\bar{D} = \frac{D_1 + D_2 + \cdots + D_{30}}{30} \tag{3}$$

$$\bar{T} = \frac{T_1 + T_2 + \cdots + T_{30}}{30} \tag{4}$$

$$\bar{L} = \frac{L_1 + L_2 + \cdots + L_{30}}{30} \tag{5}$$

式中:$\bar{D}$、$\bar{T}$、$\bar{L}$ 分别为开始日期、结束日期、时间长度的平均值(d);D_1、T_1、L_1 分别为气候季节第1 a(即1991年)的开始日期、结束日期、时间长度(d);D_2、T_2、L_2 分别为第2 a(即1992年)的开始日期、结束日期、时间长度(d);D_{30}、T_{30}、L_{30} 分别为第30 a(即2020年)的开始日期、结束日期、时间长度(d)。

分别计算1991—2020年气候季节开始日期、结束日期、时间长度的标准差(α、β、δ),公式如下:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{30}\left[(D_1 - \bar{D})^2 + (D_2 - \bar{D})^2 + \cdots + (D_n - \bar{D})^2\right]} \tag{6}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{30}\left[(T_1 - \bar{T})^2 + (T_2 - \bar{T})^2 + \cdots + (T_n - \bar{T})^2\right]} \tag{7}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{30}\left[(L_1 - \bar{L})^2 + (L_2 - \bar{L})^2 + \cdots + (L_n - \bar{L})^2\right]} \tag{8}$$

(2) 气候季节早晚和长短等级划分

通过分析"当年气候季节起止日期(时间长度)与常年气候季节起止日期(时间长度)的差值日数"和"3个整年代(1991—2020年)起止日期(时间长度)序列的标准差"之间的关系,决定当年气候季节的早晚(长短)等级,按标准差倍数选择划分指标A(±0.5,±1,±2,±3)和划分指标B(±0.5,±1,±1.5,±2)(表1)。ΔD为当年气候季节起始日期(D)与其常年气候季节起始日期($\bar{D}$)的差值天数,ΔT为当

表1　气候季节等级划分指标

Tab. 1　Index for classification of climate season grade

	气候季节等级	开始日期	结束日期	时间长度
划分指标A	异常偏早(短)	$\Delta D<-3\alpha$	$\Delta T<-3\beta$	$\Delta L<-3\delta$
	显著偏早(短)	$-3\alpha\leqslant\Delta D<-2\alpha$	$-\beta 3\leqslant\Delta T<-2\beta$	$-3\delta\leqslant\Delta L<-2\delta$
	偏早(短)	$-2\alpha\leqslant\Delta D<-\alpha$	$-2\beta\leqslant\Delta T<-\beta$	$-2\delta\leqslant\Delta L<-\delta$
	略偏早(短)	$-\alpha\leqslant\Delta D<-1/2\alpha$	$-\beta\leqslant\Delta T<-1/2\beta$	$-\delta\leqslant\Delta L<-1/2\delta$
	正常	$-1/2\alpha\leqslant\Delta D<1/2\alpha$	$-1/2\beta\leqslant\Delta T<1/2\beta$	$-1/2\delta\leqslant\Delta L<1/2\delta$
	略偏晚(长)	$1/2\alpha\leqslant\Delta D<\alpha$	$1/2\beta\leqslant\Delta T<\beta$	$1/2\delta\leqslant\Delta L<\delta$
	偏晚(长)	$\alpha\leqslant\Delta D<2\alpha$	$\beta\leqslant\Delta T<2\beta$	$\delta\leqslant\Delta L<2\delta$
	显著偏晚(长)	$2\alpha\leqslant\Delta D\leqslant 3\alpha$	$2\beta\leqslant\Delta T\leqslant 3\beta$	$2\delta\leqslant\Delta L\leqslant 3\delta$
	异常偏晚(长)	$\Delta D>3\alpha$	$\Delta T>3\beta$	$\Delta L>3\delta$
划分指标B	异常偏早(短)	$\Delta D<-2\alpha$	$\Delta T<-2\beta$	$\Delta L<-2\delta$
	显著偏早(短)	$-2\alpha\leqslant\Delta D<-3/2\alpha$	$-2\beta\leqslant\Delta T<-3/2\beta$	$-2\delta\leqslant\Delta L<-3/2\delta$
	偏早(短)	$-3/2\alpha\leqslant\Delta D<-\alpha$	$-3/2\beta\leqslant\Delta T<-\beta$	$-3/2\delta\leqslant\Delta L<-\delta$
	略偏早(短)	$-\alpha\leqslant\Delta D<-1/2\alpha$	$-\beta\leqslant\Delta T<-1/2\beta$	$-\delta\leqslant\Delta L<-1/2\delta$
	正常	$-1/2\alpha\leqslant\Delta D<1/2\alpha$	$-1/2\beta\leqslant\Delta T<1/2\beta$	$-1/2\delta\leqslant\Delta L<1/2\delta$
	略偏晚(长)	$1/2\alpha\leqslant\Delta D<\alpha$	$1/2\beta\leqslant\Delta T<\beta$	$1/2\delta\leqslant\Delta L<\delta$
	偏晚(长)	$\alpha\leqslant\Delta D<3/2\alpha$	$\beta\leqslant\Delta T<3/2\beta$	$\delta\leqslant\Delta L<3/2\delta$
	显著偏晚(长)	$3/2\alpha\leqslant\Delta D\leqslant 2\alpha$	$3/2\beta\leqslant\Delta T\leqslant 2\beta$	$3/2\delta\leqslant\Delta L\leqslant 2\delta$
	异常偏晚(长)	$\Delta D>2\alpha$	$\Delta T>2\beta$	$\Delta L>2\delta$

年气候季节结束日期(T)与其常年气候季节结束日期($\bar{T}$)的差值天数,ΔL为当年气候季节的长度(L)与其常年气候季节长度($\bar{L}$)的差值(ΔD、ΔT、ΔL单位均为d),依据表1将ΔD、ΔT、ΔL划分为9个等级。

2　结果与分析

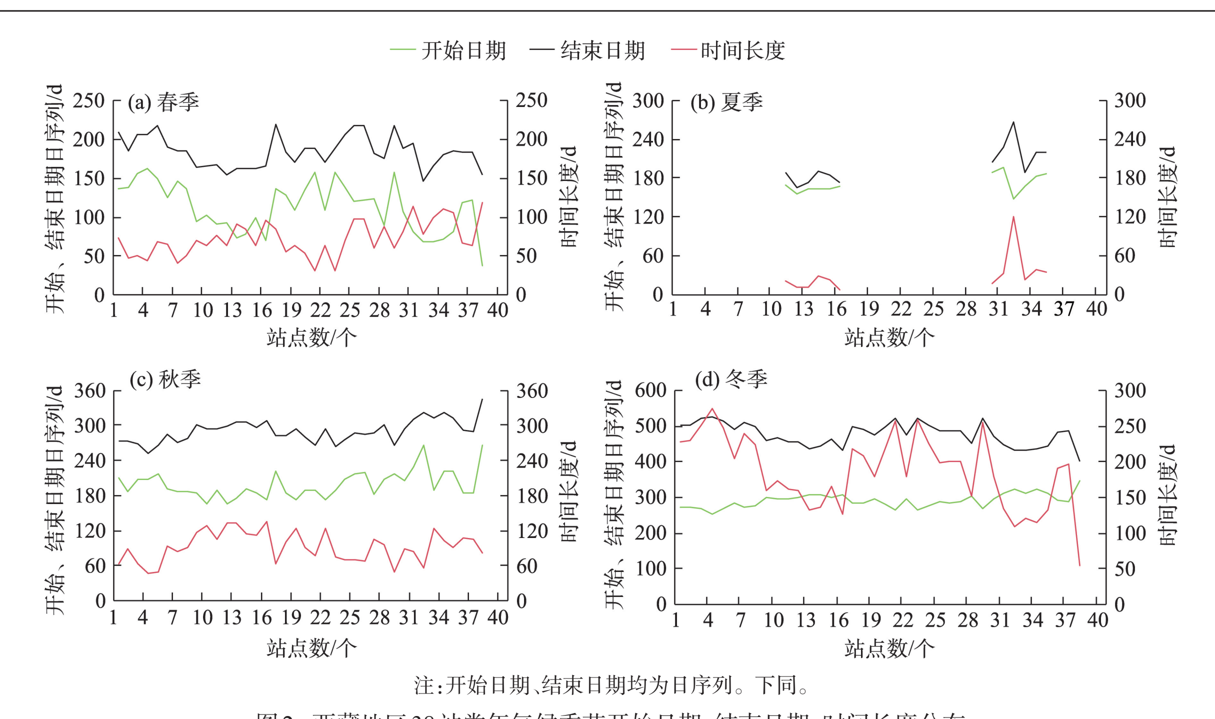
2.1　常年气候季节站点分布

从西藏地区38站常年气候季节开始日期、结束日期、时间长度空间分布可知(图2,图3),覆盖四季的站点有15个,主要分布在林芝市、昌都市西部、雅鲁藏布江一线大部的低海拔地区。38站春、夏、秋、冬季开始日期平均为第113 d(4月21日)、170 d(6月17日)、199 d(7月17日)、291 d(10月17日),时间长度平均为56 d、29 d、92 d、188 d。38站最早入春时间为2月6日(出现在察隅),最晚入春时间为6月11日(出现在安多),最长时间长度为察隅的118 d,最短时间长度为错那和帕里的32 d;在有夏季的地方,最早入夏时间为5月26日(出现在八宿),最晚入夏时间为7月14日(出现在波密),最长时间长度为八宿120 d,最短时间长度为泽当7 d;最早入秋时间为6月14日(出现在南木林和尼木),最晚入秋时间为9月23日(出现在八宿),最长时间长度为泽当136 d,最短时间长度为安多46 d;最早入冬时间为9月10日(出现在安多),最晚入冬时间为12月12日(出现在察隅),最长时间长度为安多274 d,最短时间长度为察隅55 d。

春季开始日期、结束日期较早均集中在林芝市和雅鲁藏布江一线,较晚出现在西藏西北部;时间长度较长位于林芝市和雅鲁藏布江一线大部,较短分散在西藏北部和南部。夏季开始日期、结束日期较早均集中在中部,较晚出现在东部;时间长度较长位于林芝市,较短分散在泽当、尼木、贡嘎、洛隆等站。秋季开始日期较早集中在雅鲁藏布江一线大部,较晚出现在林芝市和那曲市东部;结束日期较早分散在西藏北部和南部,较晚出现在林芝市;时间长度较长位于西藏北部,较短集中在雅鲁藏布江一线大部。冬季开始日期较早分布在西藏北部和南部,较晚出现在林芝市;结束日期较早分散在察隅、加查、八宿、泽当等站,较晚出现在安多、嘉黎、错那、帕里等站;时间长度较长位于西藏西北部和南部,较短集中在林芝市、八宿等站。

2.2　当年气候季节标准差

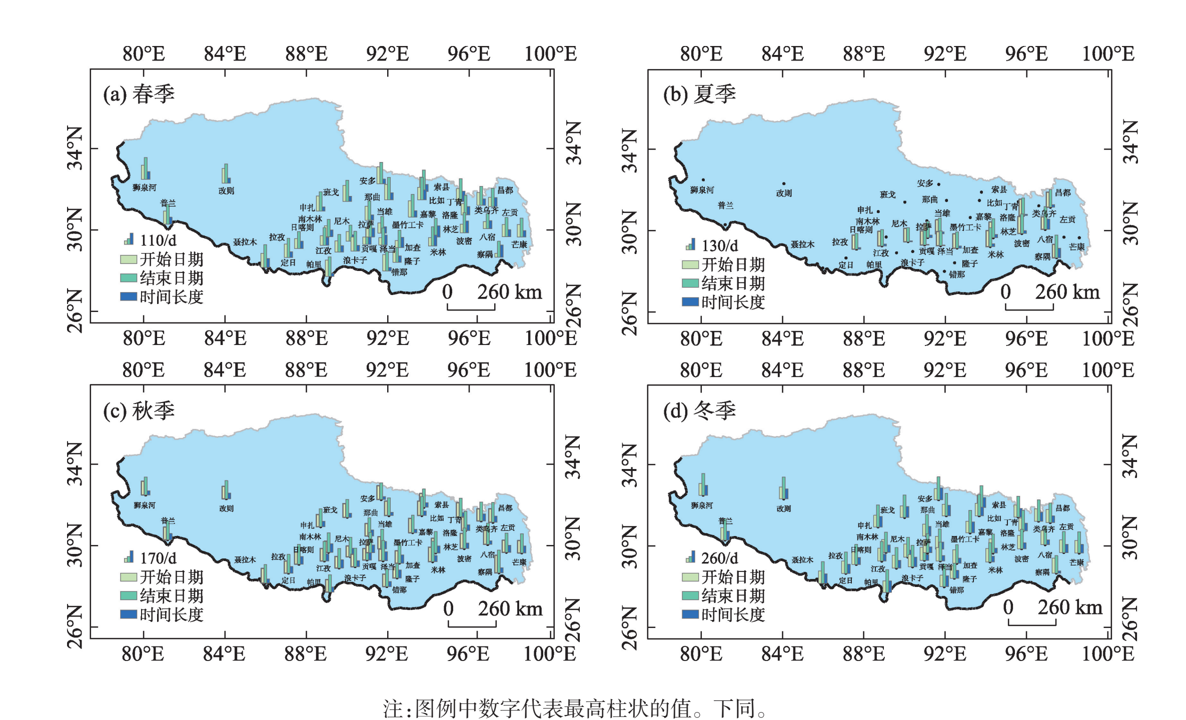
运用公式(6~8)计算38站气候季节开始日期、结束日期、时间长度标准差(图4),整体上冬季标准差最小(7.0~14.0),夏季标准差最大(17.0~20.0)。四季的时间长度标准差最大,春、夏、冬季的开始日



注:开始日期、结束日期均为日序列。下同。

图2 西藏地区38站常年气候季节开始日期、结束日期、时间长度分布

Fig. 2 Distribution of the start date, end date and duration of the perennial climate season at 38 stations in Xizang



注:图例中数字代表最高柱状的值。下同。

图3 常年气候季节开始日期、结束日期、时间长度空间分布

Fig. 3 Spatial distribution map of the start time, end time and duration of the perennial climate season

期标准差最小,秋季的结束日期标准差最小;标准差最小值出现在秋季的结束日期和冬季的开始日期(均为7.7),标准差最大值出现在秋季的时间长度(20.5);春、冬季的结束日期和时间长度标准差较接近,夏季的开始日期、结束日期、时间长度标准差较接近,秋季的开始日期和时间长度标准差较接近。

2.3 气候季节早晚等级划分指标的确定

2.3.1 38站气候季节平均早晚和长短等级及频率 利用表1中划分指标A(±0.5,±1,±2,±3)和划分指标B(±0.5,±1,±1.5,±2)计算西藏地区38站气候季节开始日期、结束日期、时间长度早晚和长短等级(图5)。两种指标下,开始日期、结束日期、时间长

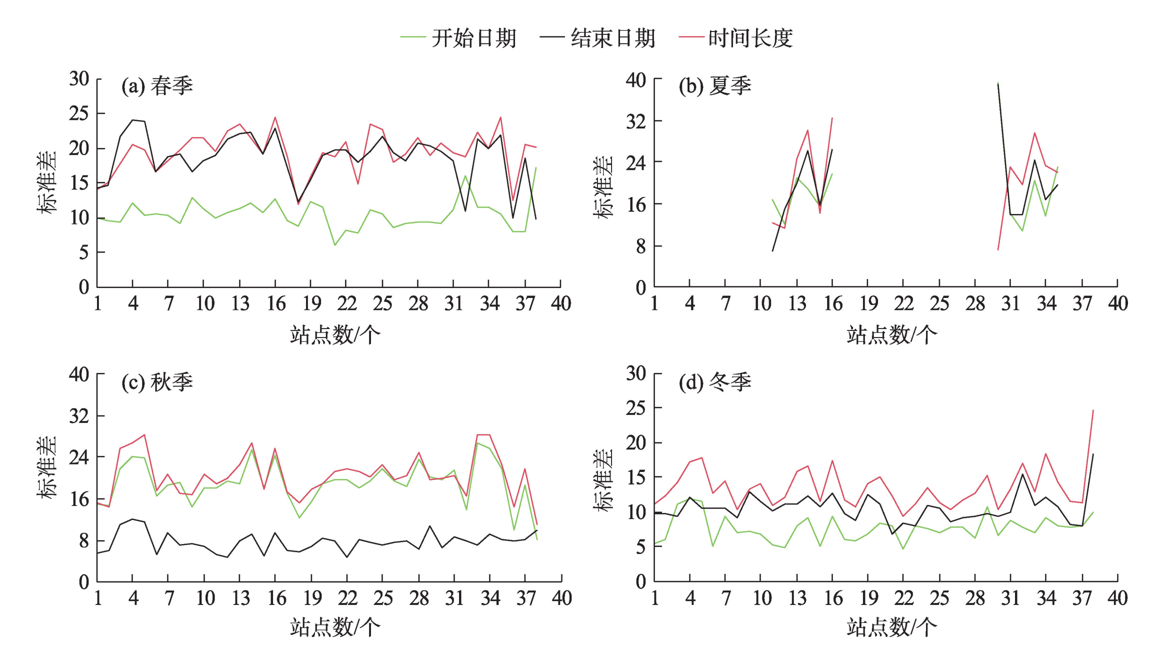


图4　西藏地区38站气候季节开始日期、结束日期、时间长度标准差

Fig. 4　Standard deviation of the start time, end date and duration of the perennial climatic season at 38 stations in Xizang

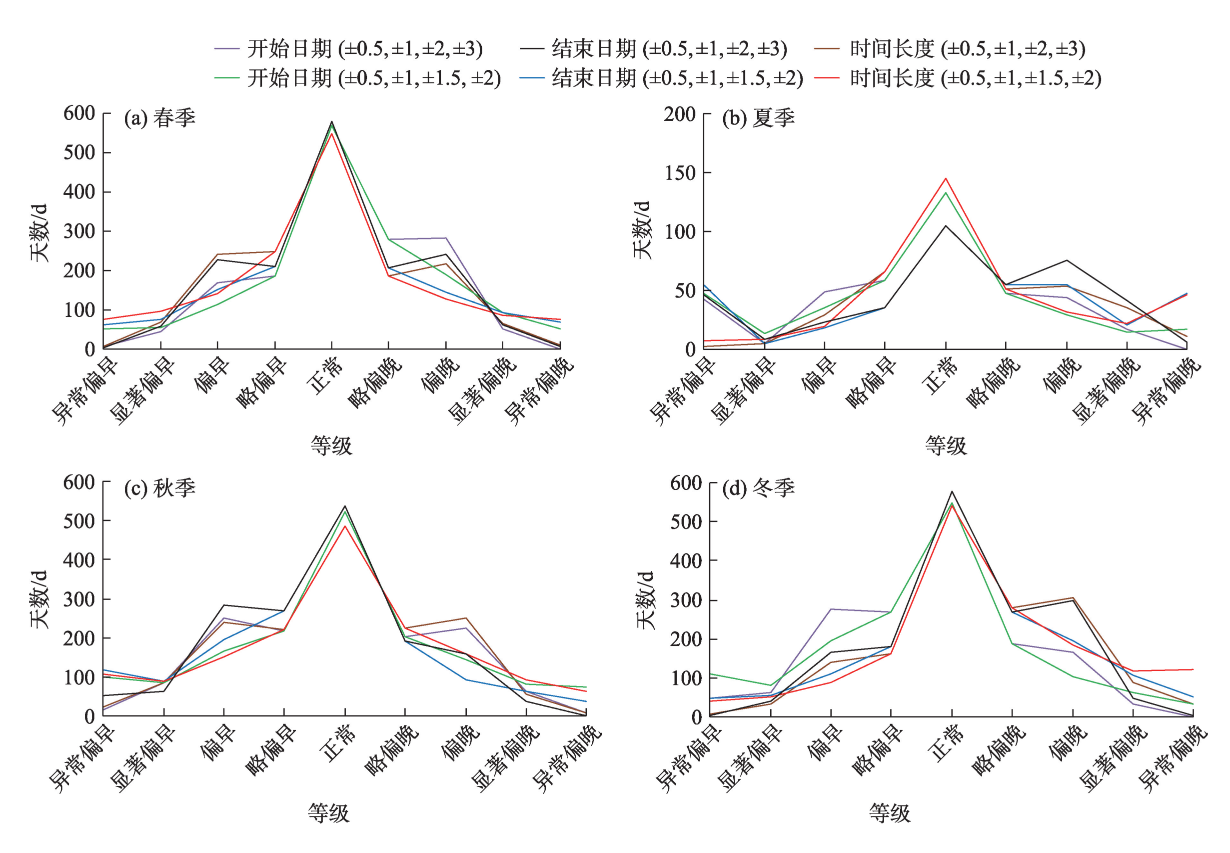


图5　基于划分指标A、B的气候季节早晚和长短等级天数

Fig. 5　Grade days of climate season which in early or late and length grade based on the division index of A and B

度正常等级天数最多,略偏早(晚)、偏早(晚)等级天数次之,显著早(晚)、异常早(晚)等级天数最少。

依次求出表1中偏早、偏晚、略偏早、略偏晚、正常5个等级(统称"等级5")出现的个数与样本数的比值;显著偏早、显著偏晚、偏早、偏晚、略偏早、略偏晚、正常7个等级(统称"等级7")出现的个数与样

本数的比值(表2),即为"等级5"和"等级7"出现的频率。夏季平均频率在开始日期时最大,冬季平均频率在结束日期时最大。基于"等级5"频率≥60%和"等级7"≥80%均满足的条件,发现除了夏季B指标下结束日期(频率为74%)未满足该条件外,其他均满足,所以此处A、B指标用来划分早晚和长短等级均可行。

2.3.2 38站气候季节早晚和长短等级频率 38站四季开始日期、结束日期、时间长度频率呈现划分指标A>划分指标B的特征;A和B指标下,春季平均频率在开始日期时最大(93%、84%、99%、93%),夏季平均频率在时间长度时最大(87%、80%、97%、87%),秋冬季平均频率在结束日期时最大(90%、81%、98%、90%和94%、84%、99%、94%)。

基于"等级5"≥60%和"等级7"≥80%均满足的条件,发现A指标下春、秋、冬季满足该条件,夏季仅在"等级5"结束日期出现1个站点不满足,在"等级7"开始日期和结束日期均出现3个站点不满足的情况。B指标的两个等级下春季结束日期和时间长度均出现2个和4个站点不满足情况;夏季"等级5"开始日期和结束日期出现1个和4个以及"等级7"开始日期、结束日期和时间长度出现6个、8个和2个站点不满足情况;秋季"等级5"开始日期出现2个以及"等级7"开始日期、结束日期和时间长度出现5个、1个和3个站点不满足情况;冬季"等级5"和"等级7"时间长度分别出现1个和2个不满足情况。综上所述,A指标使得"等级5"和"等级7"的频率满足基本条件的概率更大,且满足情况均超过限定阈值(≥92%);B指标使得"等级5"和"等级7"的频率满足基本条件的概率相对变小(其中"等级5"下春季时间长度、夏季结束日期以及"等级7"下春季时间长度、夏季开始日期、夏季结束日期、秋季开始日期满足基本条件的概率均<90%),且不满足情况最大值("等级7"夏季结束日期)超过限定阈值(为21%),因此A指标更符合气候季节开始日期、结束日期和时间长度的早晚等级划分指标的阈值。

2.4 气候季节早晚和长短时空演变特征

2.4.1 时间变化 运用A指标划分西藏地区四季早晚等级,得出四季开始日期(图6)、结束日期(图略)、时间长度(图略)的早晚和长短等级时间变化。春季(图6a),西藏地区开始日期早(晚)等级呈现显著的上升(下降)趋势($P<0.05$),说明春季开始日期有提前的趋势,气候倾向率分别为4.94 $d\cdot(10a)^{-1}$、−8.61 $d\cdot(10a)^{-1}$;开始日期早等级占比呈现21世纪10年代>21世纪00年代>20世纪90年代>20世纪80年代,晚等级占比则相反。夏季(图6b),西藏地区开始日期早(晚)等级均呈现不显著的上升(下降)趋势,说明夏季开始日期有提前的趋势,气候倾向率分别为1.41 $d\cdot(10\ a)^{-1}$、−3.60 $d\cdot(10\ a)^{-1}$;开始日期早等级占比同春季早等级一致。秋冬季(图6c~图6d),西藏地区开始日期早(晚)等级均呈现显著的下降(上升)趋势($P<0.05$),说明秋冬季开始日期有推迟的趋势,气候倾向率分别为−6.00 $d\cdot(10a)^{-1}$、−8.81 $d\cdot(10a)^{-1}$和5.23 $d\cdot(10a)^{-1}$、8.67 $d\cdot(10a)^{-1}$;早等级占比最大值分别出现在20世纪80年代和20世纪90年代;晚等级占比最大值分别出现在21世纪10年代和21世纪00年代。

结束日期早(晚)等级,春季呈现不显著的下降(上升)趋势,说明春季结束日期有推迟的趋势;夏秋季呈现显著的下降(上升)趋势($P<0.05$),说明夏秋结束日期有推迟的趋势;冬季呈现显著的上升(下降)趋势($P<0.05$),说明冬季结束日期有提前的趋势。

时间长度短(长)等级,春夏季分别呈现不显著和显著的下降(上升)趋势,说明春夏季时间长度有增加的趋势;秋冬季分别呈现不显著和显著的上升

表2 38站气候季节平均早晚和长短频率

Tab. 2 Frequency of average early or late and length grade of climatic seasons at 38 stations

季节	"等级5"频率/%						"等级7"频率/%					
	A指标			B指标			A指标			B指标		
	开始日期	结束日期	时间长度	开始日期	结束日期	时间长度	开始日期	结束日期	时间长度	开始日期	结束日期	时间长度
春季	93	92	90	84	81	79	99	99	99	93	92	90
夏季	84	74	87	76	68	79	87	87	97	84	74	87
秋季	89	90	89	79	81	78	98	97	98	89	90	89
冬季	91	94	90	82	84	79	97	99	97	91	94	90

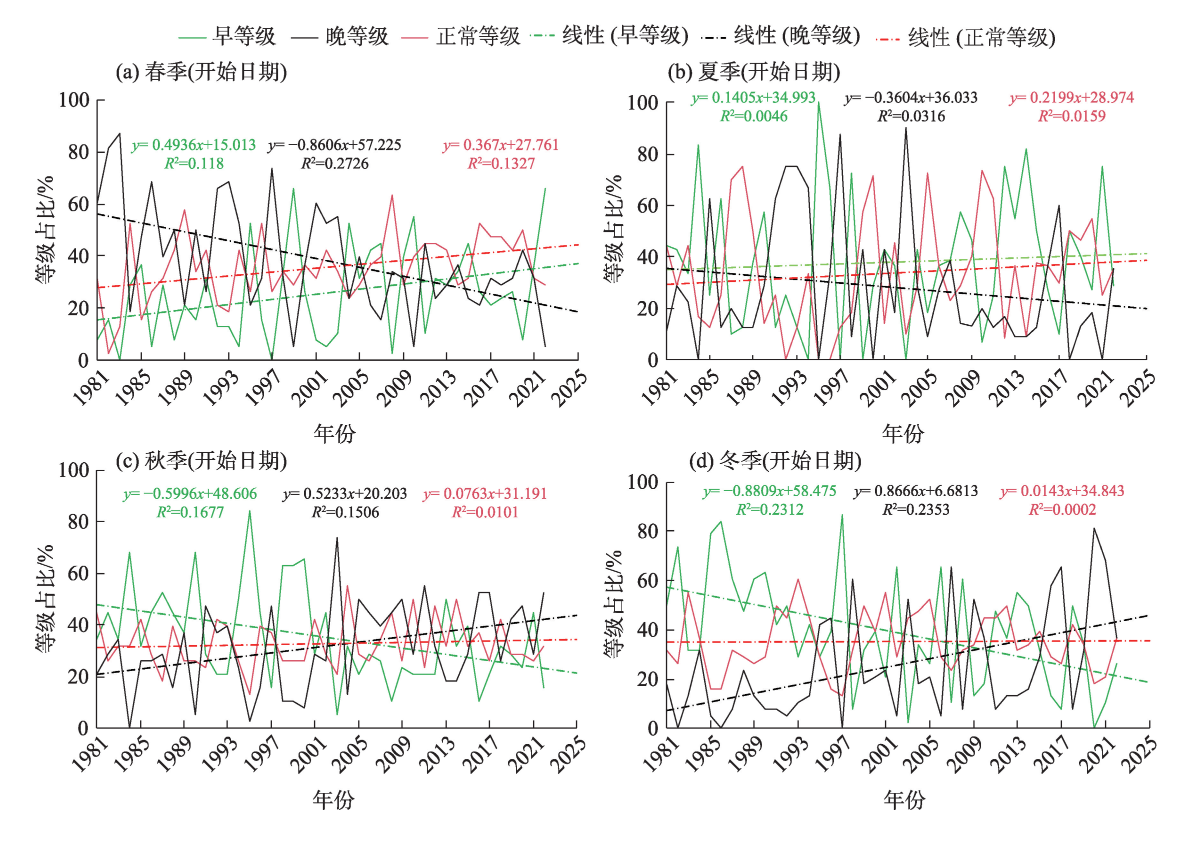


图6 西藏地区四季时间开始日期早晚等级时间分布

Fig. 6 Time distribution of the start date early or late grade of the four seasons in Xizang

(下降)趋势,说明秋冬季时间长度有缩短的趋势。

2.4.2 空间变化 运用A指标划分西藏地区四季早晚等级,得出四季开始日期(图略)、结束日期(图略)、时间长度(图7)的早晚和长短等级占比。38站春季开始日期正常等级天数最多,晚等级天数次之,早等级天数最少;除昌都市和山南市以晚等级为主外,其他地市均以正常等级为主。结束日期早等级天数最多,晚等级天数次之,正常等级天数最少;昌都市、那曲市、林芝市东部以早等级为主,拉萨市、山南市西南部以正常等级为主,其他地区以晚等级为主。时间长度短等级天数最多,长等级天数次之,正常等级天数最少;昌都市大部、那曲市大部、阿里地区西部、林芝市东部、当雄、聂拉木以短等级为主,拉萨市东部、山南市南部以正常等级为主,其他地区为长等级。

夏季,开始日期早等级天数最多,正常等级天数次之,晚等级天数最少;雅鲁藏布江一线大部、林芝市东部、昌都以早等级为主,贡嘎、洛隆、林芝以正常等级为主,八宿、米林以晚等级为主。结束日期晚等级天数最多,正常等级天数次之,早等级天数最少;雅鲁藏布江一线大部、林芝市大部、昌都以晚等级为主,八宿、米林、洛隆以正常等级为主,日喀则以早等级为主。时间长度正常等级天数最多,长等级天数次之,短等级天数最少;拉萨市东部、林芝、泽当、日喀则、拉孜以正常等级为主,林芝市东部、加查、贡嘎、尼木以长等级为主,米林、八宿、洛隆以短等级为主。

秋季,开始日期早等级天数最多,晚等级天数次之,正常等级天数最少;那曲市大部、昌都市大部、林芝市西部、狮泉河、当雄、日喀则、聂拉木以早等级为主,阿里地区、山南市大部、拉萨市中西部、察隅以晚等级为主,正常等级零星分散在八宿、申扎、浪卡子、波密、类乌齐、南木林、错那、定日。结束日期早等级天数最多,正常等级天数次之,晚等级天数最少;西藏大部以早等级为主,正常等级分散在芒康、加查、波密、索县、帕里、洛隆、南木林等地,米林、泽当以晚等级为主。时间长度短等级天数最多,长等级天数次之,正常等级天数最少;山南市、日喀则市大部、阿里地区东南部、拉萨市中西部、安多、察隅、类乌齐以短等级为主,那曲市、昌都市大部、拉萨市东北部、狮泉河、林芝、日喀则、聂拉木以长等级为主,正常等级分散在南木林、昌都、申

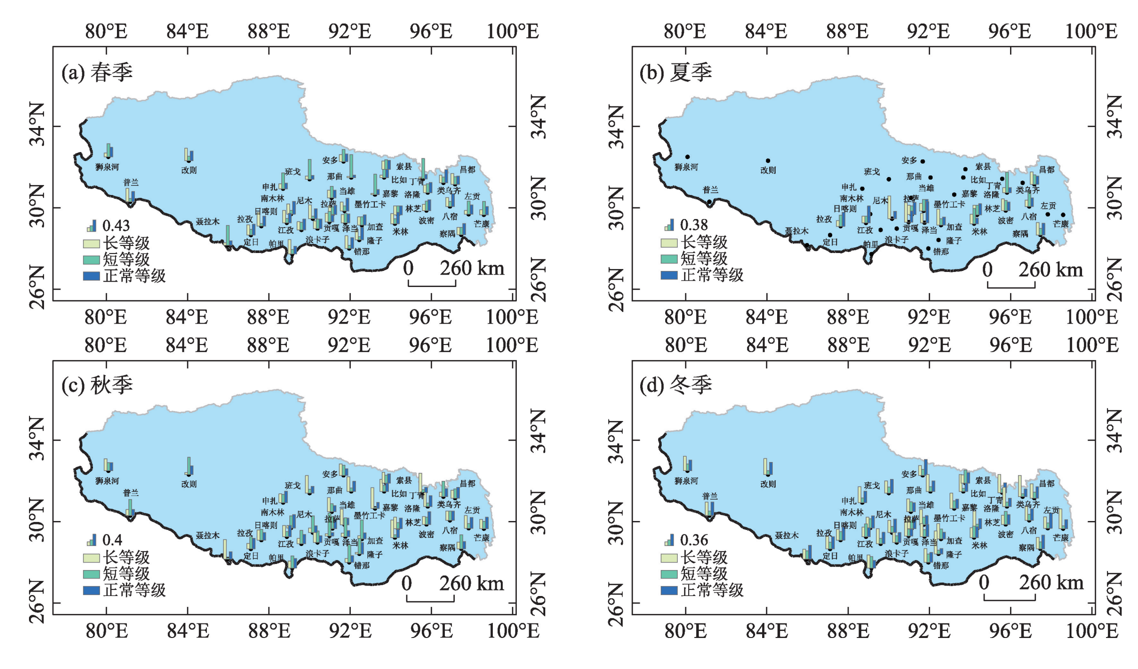


图7 西藏地区四季时间长度长短等级的占比

Fig. 7 Proportion of the time length of the four seasons which in length grade in Xizang

扎、芒康、波密等地。

冬季，开始日期早等级天数最多，正常等级天数次之，晚等级天数最少；西藏大部以早等级为主，正常等级分布在芒康、江孜、南木林、波密、加查、索县、洛隆、帕里等地，米林、泽当以晚等级为主。结束日期正常等级天数最多，晚等级天数次之，早等级天数最少；昌都市大部、山南市大部、狮泉河、那曲、申扎、比如、林芝、江孜以晚等级为主，昌都、索县以早等级为主，其他地区均为正常等级。时间长度长等级天数最多，正常等级天数次之，晚等级天数最少；西藏大部以长等级为主，班戈、聂拉木、南木林、拉孜、左贡、察隅以正常等级为主，米林、波密、索县、日喀则以短等级为主。

3 讨论

本文研究结果与程玉琴等[19]对常年值先计算历年四季日期，再进行30 a平均得到常年值的结果不同，本文采用最近三个年代(1991—2020年)的历年逐日平均气温，先得到同一日期的30 a平均值(即常年气温序列)，再对常年气温序列进行5 d滑动平均，最终得到四季常年值，充分考虑了较长时间尺度上平均气温的气候特征，减少了个别年份气温异常值对结果的影响。

划分中国四季的方法[9,20]有很多，气温阈值[3-4]也不固定，文中选择西藏新四季划分方法[3]，充分考虑了西藏气候的复杂性和特殊性，为西藏气候季节早晚和长短等级的划分指标探索提供了可靠的先决条件。文中得出西藏存在夏季的站点有15个，这与史继清等[4]利用海拔划分西藏气候季节不同阈值得出西藏各地均有春、夏、秋、冬四季的结论不同，主要是因为后者四季阈值的确定在西藏全区的不统一性、存在多个阈值导致。

相较已发表的气候季节早晚等级划分指标多为具体的阈值，比如解明恩等[13]采取“±5，±15”的划分阈值将云南昆明大理四季划分为正常、偏早(晚)、特早(晚)5个等级，具有规定性，而本文选择的是基于标准差“±0.5，±1，±2，±3”和“±0.5，±1，±1.5，±2”的间距差作为阈值(非固定)，将西藏四季划分为正常、略偏早(晚)、偏早(晚)、显著偏早(晚)、异常偏早(晚)9个等级，充分考虑了当地的气候特征，在此基础上研究了与当地本身气候特点相适应的早晚等级阈值，而且随着常年值序列的变化而变化，具有客观的数据统计特征和依据，提高了季节划分实用性和准确性，适应了西藏不同地区的气候类型；同样，该方法也可以推广应用到其他地方，以解决因地域辽阔、气候差异大而采用固定阈值产生的弊端。虽然尼木、贡嘎、泽当、拉孜、洛隆所在地夏季持续时间短(<20 d)，但气候季节分明的特点是客观存在的。与自然季节比，西藏的气候季节特点

是冬季持续时间长,春季稍短,夏季特短,秋季适中。

在全球气候变暖的大背景下,西藏地区的气候季节也发生了明显变化,呈现出开始日春夏季提前、秋冬季推迟的趋势,这与刘玉莲[11]、张世轩等[16]研究黑龙江和中国四季开始日期变化趋势一致;“时间长度夏季增加、冬季缩短”的结论与刘玉莲的[11]结果一致,但“春季增加、秋季缩短”的结论与之相反。某些结论的一致性可能与全球气候变化的趋势有关,不一致可能与大气环流模式的差异、生态系统和植被覆盖的不同、人类活动影响有关。四季变化早晚和长短等级占比出现的年代际和哪个季节,本文得出的结论与姚愚等[10]、范思睿等[15]研究结果存在差异,可能由于研究方法和数据的不同以及地理位置和海拔高度的差异,导致地域辽阔、特殊气候影响了西藏四季的变化。

4 结 论

(1) 根据新四季划分方法划分的西藏四季,存在夏季的站点有15个,主要分布在林芝市、昌都市西部、雅鲁藏布江一线大部的低海拔地区。38站春、夏、秋、冬季开始日期平均出现在4月21日、6月17日、7月17日、10月17日,时间长度平均为56 d、29 d、92 d、188 d。

(2) 常年气候季节春、秋季开始日期和结束日期较早集中分布在林芝市和雅鲁藏布江一线(除秋季结束日期位于西藏北部),夏季开始日期和结束日期较早集中在四季分明的中部区域,冬季开始日期较早分散在西藏北部和南部。春、夏、秋季起止时间较晚分别出现在西藏北部、林芝市和四季分明的东部区域,冬季开始日期较晚出现在林芝市。四季标准差呈现四季时间长度标准差最大,春夏冬季开始日期标准差最小,秋季结束日期标准差最小的特点。指标A和指标B下,开始日期、结束日期、时间长度正常等级天数最多,显著早(晚)、异常早(晚)等级天数最少,A指标更符合早晚等级划分指标的阈值。

(3) 春夏季开始日期有提前的趋势,秋冬季开始日期则有推迟的趋势;春夏秋季结束日期均有推迟的趋势,冬季结束日期则有提前的趋势;春夏季时间长度有增加的趋势,秋冬季时间长度则有缩短的趋势。

(4) 四季开始日期、结束日期、时间长度的早晚等级呈现“春季正常、早、短等级天数居多,夏季早、晚、正常等级天数居多,秋季早、早、短等级天数居多;冬季早、正常、长等级天数居多”的分布特点。

参考文献(References):

[1] 中国气象局气候变化中心. 中国气候变化蓝皮书(2023)[M]. 北京: 科学出版社, 2023. [The China Meteorological Administration Climate Change Center. Blue Book on Climate Change in China 2023[M]. Beijing: Science Press, 2023.]

[2] 史继清, 甘臣龙, 周刊社, 等. 西藏青稞主要种植区干旱时空分布及致灾危险性评估[J]. 干旱区地理, 2023, 46(7): 1098-1110. [Shi Jiqing, Gan Chenlong, Zhou Kanshe, et al. Spatiotemporal distribution of drought and hazard assessment of highland barley in Tibet[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(7): 1098-1110.]

[3] 史继清, 周刊社, 张东东, 等. 西藏地区一种新的四季划分方法[J]. 干旱区地理, 2024, 47(5): 773-784. [Shi Jiqing, Zhou Kanshe, Zhang Dongdong, et al. A new division of the four seasons in Tibet[J]. Arid Land Geography, 2024, 47(5): 773-784.]

[4] 史继清, 甘臣龙, 边多, 等. 1981—2015年西藏全区气候季节的变化[J]. 冰川冻土, 2018, 40(6): 1110-1119. [Shi Jiqing, Gan Chenlong, Bian Duo, et al. Variation of seasons in Tibet Autonomous region from 1981 to 2015[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2018, 40(6): 1110-1119.]

[5] 林蔚, 孙秀宝, 任国玉, 等. 季节划分和变化研究进展[J]. 地理科学进展, 2024, 43(4): 826-840. [Lin Wei, Sun Xiubao, Ren Guoyu, et al. A review of seasonal division and change research[J]. Progress in Geography, 2024, 43(4): 826-840.]

[6] 张志高, 孙梓欣, 张秀丽, 等. 1960—2020年黄河流域气候生长季时空演变及成因分析[J]. 干旱区研究, 2023, 40(10): 1537-1546. [Zhang Zhigao, Sun Zhixin, Zhang Xiuli, et al. Spatial-temporal evolution and impact factors during the climatic growing season in the Yellow River Basin from 1960 to 2020[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(10): 1537-1546.]

[7] 邬晓丹, 罗敏, 孟凡浩, 等. 气候暖湿化背景下新疆极端气候事件时空演变特征分析[J]. 干旱区研究, 2022, 39(6): 1695-1705. [Wu Xiaodan, Luo Min, Meng Fanhao, et al. New characteristics of spatio-temporal evolution of extreme climate events in Xinjiang under the background of warm and humid climate[J]. Arid Zone Research, 2022, 39(6): 1695-1705.]

[8] 陈峪, 姜允迪, 陈鲜艳, 等. 中华人民共和国气象行业标准《气候季节划分》(QX/T 152-2012)[S]. 北京: 气象出版社, 2012. [Chen Yu, Jiang Yundi, Chen Xianyan, et al. Meteorological Industry Standard “Division of Climate Seasons” of the People's Republic of China (QX/T 152-2012)[S]. Beijing: China Meteorology Press, 2012.]

[9] 马彬, 张勃. 基于格点数据的1961—2016年中国气候季节时空变化[J]. 地理学报, 2020, 75(3): 458-469. [Ma Bin, Zhang Bo.

Spatio-temporal distribution of the climatic seasons in China from 1961 to 2016[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(3): 458-469.]

[10] 姚愚, 李蕊, 郑建萌, 等. 1961—2017年云南季节变化特征分析[J]. 气象科学, 2020, 40(6): 849-858. [Yao Yu, Li Rui, Zheng Jianmeng, et al. Studies on the characteristics of seasonal variation of Yunnan Province during 1961-2017[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2020, 40(6): 849-858.]

[11] 刘玉莲. 1961—2010年黑龙江省气候季节时空分布及其变化特征[J]. 气象与环境学报, 2015, 31(2): 89-96. [Liu Yulian. Temporal and spatial distribution of climatic season and its variation from 1961 to 2010 in Heilongjiang Province[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2015, 31(2): 89-96.]

[12] 张宝堃. 中国季节之分配[J]. 地理学报, 1934, 1(1): 29-74. [Zhang Baokun. The distribution of seasons in China[J]. Acta Geographica Sinica, 1934, 1(1): 29-74.]

[13] 解明恩, 姚愚, 段玮, 等. 低纬高原气候季节变化特征研究——以云南昆明大理为例[J]. 热带气象学报, 2023, 39(2): 171-182. [Xie Ming'en, Yao Yu, Duan Wei, et al. Study on the characteristics of climatic seasons variation over low latitude plateau-taking Kunming and Dali in Yunnan as an example[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2023, 39(2): 171-182.]

[14] 汤懋苍, 钟海玲, 李栋梁. 青藏铁路沿线的四季划分及其温度变化分析[J]. 高原气象, 2003, 22(5): 440-444. [Tang Maocang, Zhong Hailing, Li Dongliang. The standard of marking off the four seasons along Qinghai-Xizang railway and its temperature variation analysis[J]. Plateau Meteorology, 2003, 22(5): 440-444.]

[15] 范思睿, 范广洲, 董一平, 等. 青藏高原四季划分方法探讨[J]. 高原山地气象研究, 2011, 31(2): 1-11. [Fan Sirui, Fan Guangzhou, Dong Yiping, et al. Research of the seasonal division method on Tibetan Plateau[J]. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2011, 31(2): 1-11.]

[16] 张世轩, 张璐, 孙树鹏, 等. 全球变暖情况下中国季节的变化[J]. 高原气象, 2011, 30(3): 659-667. [Zhang Shixuan, Zhang Lu, Sun Shupeng, et al. Changes of the seasons in China under global warming [J]. Plateau Meteorology, 2011, 30(3): 659-667.]

[17] 孙树鹏, 张璐, 侯威, 等. 基于非线性相似度量方法研究中国季节划分[J]. 物理学报, 2011, 60(2): 809-815. [Sun Shupeng, Zhang Lu, Hou Wei, et al. A non-linear similarity method for season division in China[J]. Acta Physica Sinica, 2011, 60(2): 809-815.]

[18] 王士维, 孙栋元, 周敏, 等. 1951—2020年疏勒河流域气温时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2023, 40(7): 1065-1074. [Wang Shiwei, Sun Dongyuan, Zhou Min, et al. Temporal and spatial variation of temperature in the Shule River Basin from 1951 to 2020[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(7): 1065-1074.]

[19] 程玉琴, 尤莉, 朱宇, 等. 赤峰市气候季节划分方法及应用[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(4): 171-177. [Cheng Yuqin, You Li, Zhu Yu, et al. Climate season division and its application in Chifeng region[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(4): 171-177.]

[20] 邢小艺, 郝培尧, 李冠衡, 等. 北京植物物候的季节动态特征——以北京植物园为例[J]. 植物生态学报, 2018, 42(9): 906-916. [Xing Xiaoyi, Hao Peiyao, Li Guanheng, et al. Seasonal dynamic of plant phenophases in Beijing: A case study in Beijing Botanical Garden[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2018, 42(9): 906-916.]

Division index of early or late and length grade in climate seasons in Xizang

SHI Jiqing[1,2], LUO Suxuan[3], ZHANG Weihua[1], ZHOU Kanshe[1],
HU Jie[1], ZHANG Dongdong[1], GAN Chenlong[4]

(1. Xizang Climate Center, Lhasa 850000, Xizang, China; 2. Xigazê National Climate Oberservatory, Xigazê 857000, Xizang, China; 3. Xizang Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Lhasa 850000, Xizang, China; 4. Maizhokunggar County Meteological Bureau, Lhasa 850000, Xizang, China)

Abstract: To better understand the response mechanisms of seasonal changes in high-altitude areas to ecological and environmental factors amid global climate change, it is crucial to study the indicators of seasonal early or late and length grade duration classification in Xizang. In this study, we analyzed daily temperature data from 38 meteorological stations in Xizang (1981−2023) using temperature thresholds of 6 ℃, 17 ℃, 17 ℃ and 6 ℃ for four seasons, to explore the classification indices and evolution laws of seasonal early or late and length grade. The results revealed the following: (1) The average start dates for spring, summer, autumn, and winter at the 38 stations were April 21, June 17, July 17, and October 17, with average lengths of 56 d, 29 d, 92 d, and 188 d, respectively. (2) The start and end times, as well as the lengths of the climatic seasons, exhibit characteristics of minimum standard deviation in winter and maximum standard deviation in summer. (3) The start dates, end dates, and length of the climatic seasons, as well as the start and end times and length of the four seasons, showed the following patterns: Normal>slightly early (late) and early (late)>significantly early (late) and abnormally early (late). A indicator is more in line with the threshold of the classification indicators of early or late and length grade. (4) In Xizang, the onset of spring and summer trends was earlier, while autumn and winter had late trends. (5) The start date of spring, the end date of winter, and the length of summer across the 38 stations were primarily classified as normal, whereas the start dates of summer, autumn, and winter, along with the end dates of spring and autumn, were mainly categorized as early. Conversely, the lengths of spring and autumn were mainly classified as short, while winter was predominantly classified as long, and the end date of summer was primarily considered late. These findings provide valuable insights into climate resource management, ecological protection, and the overall impact on human production and life.

Keywords: climate season; early or late and length grade; standard deviation; evolution law; Xizang